

## 科学与人文

# 自然的数字化

## 关于科学革命编史纲领的探讨

郝刘祥

**摘要** 文章在评论柯瓦雷、韦斯特佛和弗洛里斯·科恩等三位科学史家编史纲领的基础上,指出科学革命是一个有结构的动力学进程,该结构由数字化表征、本体论承诺和发现型实验三大主题交织而成。这三大主题之间的相互限制和相互促进,构成了科学革命的主线。自然的数字化只能从数学表征这个角度来理解,并且不能脱离其他两大主题而独立发展。数字化表征既依赖于我们关于物理实在的本体论承诺,同时又启迪着我们去修正原有的本体论承诺。

**关键词** 科学革命 编史学 数字化表征 本体论承诺 发现型实验 机械论 微粒论 超距作用力

在史学领域,科学革命跟文艺复兴、宗教改革、工业革命和启蒙运动等概念一样,是一个专有历史名词,特指近代早期以经典力学的创立为标志的那场科学革命。为与常识意义上的以及科学哲学文献中的科学革命 (scientific revolutions) 概念相区别,英语文献中通常用加定冠词 (the scientific revolution) 或首字母大写 (Scientific Revolution) 的做法来称呼这场革命。仿照“法国大革命”的概念,中文世界也许可以采用“科学大革命”的译法。所幸在科学史领域,提起“科学革命”时通常不会发生这种歧义。

17 世纪的科学革命之所以如此独特,以致成为历史分析的一个专门范畴,就在于它标志着现代科学的兴起。在这场革命之前,科学不过是依附于哲学、数

---

**作者简介** 郝刘祥,中国科学院自然科学史研究所研究员。

**基金项目** 本文为中国科学院规划与决策科技支持系统建设项目“科学文化的边界问题及其历史根源的研究”资助的系列研究成果之一。

学和技艺的关于自然的认识,而在这场革命之后,科学通过对自然的双重掌控——来自思想层面和操作层面的双重掌控,一跃成为人类社会中一股强大并且相当独立的文化力量。

科学革命的编史学(historiography)所要探讨的,首先是如何刻画这场革命的本质。对科学革命之本质的刻画,不仅能彰显其独特的历史地位和意义,同时也蕴含了对其发生原因的解释。科学革命不是单一的历史事件,而是由前后相继的诸多事件构成的一个历史进程。如何用若干条主线来勾画这一历史进程,正是科学革命的编史学所要考虑的问题。史学著作不是纷纭历史事件的随意拼贴画。即使我们将科学革命限制为经典力学的创立过程,关于科学革命的著作也不能只是简单地罗列伽利略、开普勒、笛卡尔、惠更斯、波义耳、胡克和牛顿等人的思想和成就。更何况,牛顿力学的创立只是科学革命的标志,远不是科学革命的全部内容。

当代关于科学革命的研究,通常都要追溯到迪昂(P. Duhem)于1913年提出的“迪昂论题”。以迪昂论题为起点,迄今关于科学革命的研究已整整过去了一个世纪,相关的论著可谓汗牛充栋。全面探讨科学革命的编史学,远远超出了本文作者的能力。值得庆幸的是,近年荷兰科学史家弗洛里斯·科恩(H. F. Cohen)积数十年之功力,撰写了《科学革命的编史学研究》这部巨著[弗洛里斯·科恩2012b],内中对60多种不同的编史纲领逐一进行了剖析。本文的目标,是结合对柯瓦雷(A. Koyré)、韦斯特佛(R. Westfall)和弗洛里斯·科恩这三位史家的编史学的评论,探讨“自然的数学化”作为科学革命编史纲领的意义与局限,以及在更合理的编史纲领中“自然的数学化”在科学革命进程中的地位与作用。

## 一 从数学实在论到数学表征论

科学革命作为一个历史概念,在很大程度上要归功于柯瓦雷的贡献。事实上,科学史的职业化是萨顿(G. Sarton)的工作和柯瓦雷思想的结合。萨顿创立了第一个科学史系和第一份专业科学史刊物,柯瓦雷则为这门学科提供了研究“范式”。柯瓦雷的《伽利略研究》[柯瓦雷2008]对第一代职业科学史家产生了普遍而深刻的影响。作为这一影响的结果,科学革命迄今仍然是科学史领域的研究重心。

---

迪昂论题断言,14世纪巴黎唯名论者的冲力理论是伽利略物理学的先驱,伽利略关于匀速和匀加速运动的定义就来自这些唯名论者。

在科学史领域之外，柯瓦雷的科学革命概念，还通过巴特菲尔德（H. Butterfield）在剑桥的著名演讲《近代科学的起源》[Butterfield 1958]，而为英美一般史学界所广泛接受。

柯瓦雷把近代科学革命描述为世界观的根本转变。在《伽利略与柏拉图》一文中，他开宗明义地点出：

自希腊人发明秩序井然的宇宙概念（the Cosmos）以来，这场革命在人类思想史上即使算不上最深刻的革命，至少也是最深刻的革命之一：它不啻为一场彻底的思想“蜕变”（mutation），现代物理学则是这一蜕变的表现和成果。[Koyré 1968, p. 16]

对于这一思想蜕变，柯瓦雷在其关于科学革命的系列论著中，始终用两个互为关联的特征来刻画：

这两个特征是（1）秩序井然的宇宙（the Cosmos）的瓦解，因此基于这个概念的所有考虑也随之从科学中消失（2）空间的几何化，即用各向同性的、抽象的欧几里得几何学空间来代替前伽利略物理学中性质各异的、具体的世界-空间概念。这两个特征可以归结为：自然的数学化（几何化），以及科学的数学化（几何化）。[Koyré 1968, p. 19]

柯瓦雷对科学革命特征的刻画，主要源于他对伽利略的研究。他把惯性原理的建立作为科学革命的核心事件。在考察这一事件时，柯瓦雷一方面强调柏拉图主义对伽利略的积极影响，另一方面却贬低实验研究在伽利略思想中的价值。如今看来，他对伽利略的研究在某些方面已经过时了。诚然，伽利略在某种意义上是一位柏拉图主义者，因为他明确宣称，大自然这本书是用圆和三角形之类的几何学语言写成的。伽利略的著作，也是模仿柏拉图的对话体的体裁。尽管如此，伽利略不是柏拉图式的哲学家，他本人宁愿被称为“数学哲学家”，即用数学方法而不是传统的自然哲学方法来研究自然的哲学家。与其说伽利略是一位柏拉图主义者，还不如说他是一位阿基米德主义者。事实上，他也被同代人誉为“当代的阿基米德”。作为阿基米德的传人，实验在伽利略发现惯性原理、落体定理和抛物线运动定理中起着非常重要的作用。德雷克（S. Drake）对未收入伽利略文集的那部分手稿的研究[Drake 1970]，以及塞特尔（T. B. Settle）对伽利略实

---

史学家和哲学家通常在不同的意义上使用“柏拉图主义”这一术语。大体而言，这一术语具有两层含义（1）自然服从数学原理，数学原理是自然界的真实原理（2）数学概念是实在的，属于柏拉图的相界或理型世界。本文中的柏拉图主义者，是指信奉第一种观点的科学家。为区别起见，我们把第二种观点的持有者称为数学实在论者。

验的成功复制,已经充分揭示了这一点。[I. B. 科恩 2010, 附录 3 和附录 4]

这里暂且不去讨论柯瓦雷的伽利略研究的局限性,因为本文的重点是探讨“自然的数学化”这一主题。柯瓦雷所言的“自然的数学化”,仅仅限于“空间的几何化”,即用欧几里得的几何空间取代亚里士多德的宇宙学空间。将这样理解的数学化作为编史纲领,事实上只能突出伽利略和笛卡尔的贡献。我们知道,伽利略不仅用望远镜摧毁了亚里士多德的水晶天球概念,更用实验和数学的方法建立了地面物体的运动学。伽利略的运动学是建立在物理空间是局部欧几里得空间这一概念基础之上的,不过他还没有无限空间的思想。在伽利略那里,惯性原理只是断言物体在不受干扰的情况下将保持其水平运动,这种水平运动是局部的直线运动,在地球的尺度上它就成了圆周运动。事实上,伽利略的确把圆周运动看作是惯性运动,并以此来为哥白尼学说辩护。惯性原理的现代形式是笛卡尔首先给出的,该原理断言物体在不受外力干扰的情况下将保持静止或匀速直线运动状态,因此蕴含了空间和宇宙无限的思想。

将“空间的几何化”作为科学革命的编史纲领,显然无法容纳开普勒的革命性成就。开普勒既没有像伽利略那样摧毁亚里士多德的物理学,也没有像笛卡尔那样提出无限宇宙的思想。他的行星运动三定律固然隐含了行星运动的空间是局部欧式的,但这种处理方法是承自传统。他的革命性贡献,首先是摧毁了行星运动是匀速圆周运动之合成的古老设想,这是自柏拉图以来历代天文学家为之圆梦并为哥白尼所沿袭的设想。开普勒诚然相信宇宙的构造体现了数学上的和谐,就此而言我们可以给他贴上毕达哥拉斯-柏拉图主义的标签。但开普勒并不满足于揭示宇宙的数学和谐,他还要窥探和谐背后的奥秘。开普勒借助磁的类比来解释太阳对行星的吸引力的构想,是天体运动的动力学的发端。为了将开普勒纳入到科学革命的进程中来,柯瓦雷不得不专门写一本《天文学革命》[Koyré 1980]。如此一来,哥白尼和开普勒的天文学革命仿佛成了“空间几何化”这一主题的背景。

将“空间的几何化”作为科学革命的编史纲领,同样无法将牛顿的革命性成就包容进来。“空间的几何化”仅仅涉及运动学理论,远不足以概括牛顿的动力学理论。仅仅从“空间的几何化”角度去理解牛顿的贡献,甚至可以说是牛顿的侮辱。所以在 1950-1960 年代,柯瓦雷不得不再次拓展他的科学革命研究。在《牛顿研究》[柯瓦雷 2003]中,柯瓦雷的编史观念发生了重大转变。这里他把科学革命看成是柏拉图主义和微粒论哲学这两股潮流的结合,其中柏拉图关于实在的数学构想占据主导地位,代表人物是伽利略和笛卡尔;而德谟克利特关于实在

的原子论构想发挥了辅助作用，代表人物是伽桑狄、波义耳和胡克，牛顿则是这两大潮流的综合。柯瓦雷写道：

在牛顿那里，自然之书是用微粒符号和微粒语言写成的，这一点同波义耳一样；然而，把他们结合在一起并赋予整本书意义的句法却纯粹是数学的，这一点又同伽利略和笛卡尔一样。[柯瓦雷 2003，页 8]

柯瓦雷关于科学革命两种潮流的解释，下文我们在讨论韦斯特佛的编史纲领时将要详细讨论。这里我仅想指出两点。其一，笛卡尔在这里被归入了柏拉图主义阵营，而不是微粒论哲学阵营，这是颇为诡异的。其二，把牛顿看作这两大潮流的综合是远远不够的。牛顿不仅超越了柏拉图主义，同时也超越了微粒论哲学。对牛顿而言，自然之书的符号不仅仅是微粒，而且还包括时空和力，把这些符号连缀成句的句法则是数学。

柯瓦雷在解释开普勒和牛顿的工作时所遇到的困难，主要源于他对“自然的数学化”的狭隘定义。这种狭隘的定义，很容易导致一种激进的观点，即物理实在不过是数学概念的化身。当且仅当我们像笛卡尔那样，将物质（微粒）与空间（广延）等同起来，并且只用物质和运动这两种本来解释世界时，才有可能接受这样一种数学实在论。一旦我们像开普勒和牛顿那样超出笛卡尔的机械论哲学，承认物质和力的物理实在性，那么这种数学实在论就只剩下空壳了：数学不过是表征物理实在之间的关系或结构的语言或句法。从数学哲学角度来看，这是希尔伯特的形式主义；从科学哲学角度来看，这实际上是数学表征论。柯瓦雷在牛顿研究中实际所达到的结论，不是数学实在论，而是数学表征论：如果我们将欧式空间也看作是物理实在，那么数学不过是描述物理实在的语言工具。

这样，柯瓦雷从伽利略研究、经开普勒研究、最后到牛顿研究，“自然的数学化”已经从最初的数学实在论逐步过渡到数学表征论。在数学实在论中，物理实在是数学的化身；而在数学表征论中，数学不过是描述物理实在的语言，而没有深入到实在的本质。一旦我们摆脱柯瓦雷关于“自然的数学化”的狭隘定义，像戴克斯特霍伊斯（E. J. Dijksterhuis）那样把“自然的数学化”理解为用数学语言来描述物理实在，那么“自然的数学化”确实是从伽利略到牛顿这一科学革命

“机械论”一词在科学史和科学哲学文献中具有不同的含义。本文中，除非特别指明，我们沿袭波义耳的定义，即仅仅用物质和运动这两大原则来解释整个世界的哲学主张。

按形式主义纲领，数学的对象是结构和形式，数学不涉及到语义问题，它的符号可以用桌子、椅子和啤酒杯来代替。这一观点的合理性在于，数学可以归结为集合论，而集合只涉及概念的外延。这种观点为数学为什么能应用于自然界提供了一个简洁的解释，因为科学也只关心概念的外延。科学并不去追究力是什么，而只需要确认哪些力是引力，哪些是电磁力等等。

进程的重要特征。对此,戴克斯特霍伊斯写道:

那时必须达成一种对待自然的全新观点:探究事物真正本性的实体性(substantial)思维,不得不替换成试图确定事物行为相互依赖性的函数性(functional)思维;对自然现象的语词处理必须被抛弃,取而代之的则是对其经验关系的数学表述。[戴克斯特霍伊斯 2010, 页 547-548]

在这样理解的数学化编史纲领中,伽利略、开普勒、笛卡尔、惠更斯和牛顿都能获得合理的位置。数学语言不同于日常语言,其一它是一门精确的语言,其二它是一门推理的语言。作为精确的语言,数学概念是“直观概念的精确解”(哥德尔语);作为推理的语言,数学采用公理化方法来组织命题。但语言毕竟是语言,除非我们接受巴门尼德或柏拉图的语言与存在的同一性命题。既然数学不过是表征物理实在的工具或手段,“自然的数学化”就不可能是一个自足的、能够自我展开并自我完善的思想主题。数学化纲领的成功与否,取决于我们关于物理实在的本体论承诺。

## 二 数学表征与物理实在

最接近从数学表征与物理实在的互动角度来刻画科学革命的尝试,当属韦斯特佛的编史纲领。在《近代科学的建构——机械论与力学》这部著作中,韦斯特佛力图通过柏拉图主义和机械论哲学两大潮流的互动过程,给出一幅关于科学革命的融贯图像。在该书的序言中,韦斯特佛写道:

两大主题主导着 17 世纪的科学革命——柏拉图-毕达哥拉斯主义和机械论哲学。柏拉图-毕达哥拉斯主义以几何术语来看待自然,确信宇宙是按照数学秩序原理建造的;机械论哲学则设想自然是一部巨大的机器,并试图解释后面隐藏的机制。……这两大传统并非总能相配协调。毕达哥拉斯主义传统通过秩序来处理现象,满足于发现精确的数学描述,并把这种描述理解为对宇宙终极结构的表达。而机械论哲学关心的则是个别现象的因果解释。……机械论哲学家一般来说力图从自然哲学中消除一切晦暗不明的痕迹,表明自然现象是由不可见的机制引起的,这种机制完全类似于人们日常生活中所熟知的那些机制。这两种思想运动追求不同的目标,往往相互冲突……。对机械因果关系的解释往往与精确描述之路相反,科学革命的充分实现要求解决这两种主导倾向之间的张力。[韦斯特佛 2000, 页 1]

韦斯特佛的灵感，无疑来自柯瓦雷关于科学革命两种思潮的解释。柯瓦雷关于科学革命两种思潮的粗略论述，在韦斯特佛手中变成了一份完整的编史纲领。对此，弗洛里斯·科恩高度评价道：“韦斯特佛第一次把科学革命设想成一个有结构的过程，而不是一种无结构的发展或静态结构。”[弗洛里斯·科恩 2012, 页 180] 韦斯特佛的编史纲领与柯瓦雷的思想之间还有两个重要的区别。首先，韦斯特佛用毕达哥拉斯-柏拉图主义来概括“自然的数学化”（而不是用狭隘的“空间的几何化”来界定自然的数学化），从而为开普勒提供了合适的位置；其次，韦斯特佛用机械论哲学取代了微粒论哲学的地位，这样笛卡尔便被归入机械论哲学行列。

韦斯特佛的编史纲领是否实现了自己的目标，即“一种具有长久价值的关于科学革命的融贯解释”[Westfall 1971, p. ix]？读过韦斯特佛著作的读者，恐怕都有些不以为然。其中最突出的问题，就是机械论哲学的定义。在韦斯特佛的著作中，“机械论”一词至少有两大类六种不同的含义（1）从属于力学的，包括（1a）从属于静力学的（如托里拆利），（1b）从属于运动学的（如惠更斯），（1c）从属于动力学的（如牛顿）（2）与微粒论相关的，包括（2a）伽桑狄的，（2b）笛卡尔的，（2c）波义耳的。在如此宽泛的意义上使用“机械论”，使得韦斯特佛将伽利略和开普勒之外的几乎所有科学家，包括那些在一定程度上接受了活力论思想的科学家（如波义耳和胡克），都被纳入机械论哲学阵营。如果说韦斯特佛的机械论定义过宽，以致失去了解释力的话，他对数学化潮流的定义又失之过严，以致不能把那些不怎么信奉毕达哥拉斯-柏拉图主义、但同样追求精确数学描述的科学家包容进来。突出的实例就是惠更斯，尽管他是解决两种倾向之间的张力的人物，但只能被归入机械论阵营。

最麻烦的是牛顿的位置。作为研究牛顿的权威，韦斯特佛居然不能把牛顿纳入自己的编史纲领之中，这是颇为耐人寻味的。牛顿通过引入超距作用力，确实解决了开普勒三定律（以及伽利略的落体定律）与机械论哲学（按波义耳的定义，即仅用物质和运动这两个本原来解释世界的观点）之间的冲突，但牛顿既不是毕达哥拉斯-柏拉图主义者，也不是标准意义上的机械论者。对他而言，数学不过是精确表征的工具，自然哲学的数学原理是上帝意志的显现。牛顿虽然受到剑桥新柏拉图主义的影响，但他更倾向于唯意志论的上帝，而不是唯理智论的上帝。至于机械论，牛顿从一开始就不完全接受。在炼金术试验中，他在一定程度上接受了活力论的思想。牛顿曾试图将机械论与活力论结合起来，通过设想一种包含

“气精”(spirit)的物质性以太来解释引力,但最终他还是抛弃了以太,干脆直接承认超距作用力[Westfall 1980, pp. 304-308]。这等于是否定了机械论哲学——除非我们把机械论哲学理解为按牛顿力学的方式解释世界。在机械论哲学中,力是运动的结果;而在牛顿理论中,力是(非惯性)运动的原因,是独立于物质和运动的物理实在。

韦斯特佛编史纲领的魅力在于它把科学革命设想为有结构的动态进程,但若想保留这种设想,我们就得修正这个结构本身。构成这个结构的第一主题——数学化主题——比较容易修正,即不把它限制为带有本体论色彩的毕达哥拉斯-柏拉图主义,而是把它拓宽为认识论或表征论意义上的对自然的数学描述。但第二主题如何修正,却颇为令人烦恼,机械论、微粒论都不足以涵盖这一主题。参照对第一主题的修正,我们可以认定该主题是关于物理实在的本体论构想。沿用当时的术语,不妨称之为自然哲学主题,或可直接称之为本体论主题。

这种修正若想获得成功,首先必须刻画第二主题是如何展开的,进而需要说明第一主题和第二主题是如何交织在一起的。牛顿力学最终呈现给我们的世界图像是:由微粒构成的物质在各种力的作用下在欧式空间中运动。这样一幅图像实际上承诺了三种物理实在:即时空(伽利略时空)、物质(微粒)和力(超距作用),因此第二主题的内容就是关于时空、物质和相互作用力的构想。循此思路,我们不难勾勒出第二主题的展开进程:首先是空间的几何化,其次是机械论的微粒论,或曰运动微粒论,最后是微粒之间的超距作用力概念。

空间的几何化,即用欧几里得的几何学空间取代亚里士多德的目的论宇宙学空间。柯瓦雷的研究表明,这是柏拉图主义对亚里士多德主义的“报复”。伽利略首先将地表空间(也就是亚里士多德的月下界)等同于欧式空间,从而提出了惯性原理的初步形式。惯性原理所蕴含的无限空间思想,促使笛卡尔将整个宇宙等同于欧几里得空间,并给出了惯性原理的完整表述。空间的几何化,为笛卡尔的机械论哲学——用物质和运动这两大本原来解释整个世界——的发展提供了前提。所以从历史角度来看,柏拉图主义是机械论哲学的助产士:亚里士多德主义在遭到柏拉图主义的“报复”之后,被笛卡尔的机械论哲学取而代之。

运动微粒论是机械论哲学与古代原子论结合的产物,后者的复兴主要得益于伽桑狄的努力。运动微粒论一方面继承了古代原子论的观点——世界是由不可见的、不可入的、形态各异的微粒构成的,另一方面继承了机械论的运动概念——微粒一旦运动就会持续运动下去,直到它与其它微粒发生碰撞或交换位置。这里



我们至少得区别两种不同的微粒论，笛卡尔的和波义耳的。笛卡尔的微粒论否认真空的存在，因此他的微粒等同于“广延”，运动只是位置的交换。波义耳的微粒论则认为，世界是由微粒和真空构成的，物质由初始微粒逐级凝结而成，微粒之间的结合与分离服从机械论法则。波义耳认为，所有初始微粒在性质上是同一的，初始微粒的第一级凝结物则具有不同的化学性质，化学反应只是第一级凝结物之间的结合与分离，不能破坏第一级凝结物，但炼金术可以实现第一级凝结物之间的转化。[袁江洋 1997，页 133-134]

运动微粒论在解释天体的吸引、重物的下落、电磁和光学现象、气体的“弹性”、液体的表面张力、毛细现象、化学亲和性等众多经验上的无能为力，一度迫使胡克和牛顿引入某种“活动本原”(active principle)来补充解释这些神秘的吸引现象。最终，牛顿抛弃了包含某种活动本原的以太概念，直接承认微粒之间存在“某种超距作用(action at distance)的本原”[Westfall 1980, pp. 374-375]，从而超越了机械论哲学，并完成了经典力学所需的本体论构想。科学的目标，于是从关于这些力的原因的探讨，转向对这些力的数学特征的刻画。

上文对第二主题(本体论主题)展开过程的简单勾勒表明，第一主题(数学化主题)的发展，在很大程度上依附于第二主题。伽利略的惯性原理，有赖于将物理空间设想为欧式空间。惠更斯关于圆周运动和碰撞运动的数学定律，建立在运动微粒论基础之上；牛顿第三定律，是将机械论的结论推广到力的世界。最后，通过直接承认力的存在，牛顿才得以表述他的动力学理论。另一方面，数学化主题的进展，反过来也有助于本体论主题的拓展。开普勒的行星运动三定律，直接促使开普勒设想一种类似于磁力的远程吸引力，并促使胡克设想一种与重力一样的天体吸引力[Westfall 1980, p. 382]。循着这一思路，牛顿获得了这种吸引力的精确数学形式，最终使力获得了本体论的地位，这在下文还要谈及。概言之，自然的数学化依赖于既有的本体论承诺，同时又往往暗示着对既有本体论的修正或扩展。

保留科学革命作为“有结构的过程”这一概念，同时对韦斯特佛的结构进

---

正是在这个意义上，波义耳被认为是现代化学“元素”概念的建立者。值得一提的是，波义耳本人是反对传统的元素论的，无论是亚里士多德的四元素论，还是炼金术中的三元素论。他也不完全赞同古代原子论，因为他认为初始微粒是完全同一的，而不是像古代原子论者那样认为具有不同的几何形状。

气体的膨胀现象自古代以来一直被视为气体的弹性。为解释这种弹性，机械论哲学家设想气体微粒之间存在由精细微粒构成的以太。1679-1680年间，牛顿抛弃了以太的构想，转而认为气体微粒之间存在超距作用的排斥力。气体分子运动论迟至19世纪才建立起来。

行适当修正,用数学化主题和本体论主题来取代原来的毕达哥拉斯-柏拉图主义和机械论哲学这两大主题,我们更容易看出这个结构的缺陷。首先,关于物理实在的本体论设想的依据是什么?数学化依赖于关于物理实在的本体论承诺,它对本体论构想的修正所能发挥的反馈作用是有限的——虽然往往是很关键的;其次,数学化的首要任务是确立物理实在的各要素之间的函数关系,那么该函数关系成立的依据又是什么?本体论的承诺只是确认物理实在的构成要素,并不能告诉我们这些要素之间的精确关系。

换言之,我们必须为这个结构添加一个新的主题——实验主题,从而将科学革命的结构从双螺旋结构扩展到三螺旋结构。如此一来,科学革命就是数学表征、物理实在和观察测量三者之间互动进程。经验数据一方面是数学表征和本体论构想的共同基础,另一方面又是为了检验数学表征和本体论构想的合理性而取得的。数学表征、物理实在和观察测量三者之间的互动,使得这个结构具有自我修正、自我发展的能力。脱离这个结构,三个主题的发展都具有高度的任意性。脱离本体论构想的经验研究是漫无目的的,培根的方法只能给我们提供一堆杂乱无杂的经验资料;同样,缺乏合理的本体论构想的数学表征,如希腊化时代关于行星的本轮-均轮体系,最终只能走入死胡同。反之,没有经验基础的本体论构想,比如古希腊的四元素论和原子论,终究是思辨式的玄想;同样,若不是借助数学表征,我们无法确认重力和天体之间的引力都只是万有引力的特例,也不可能确认光只是电磁波的特例。下文要讨论的弗洛里斯·科恩的编史纲领,就是把科学革命视为数学化表征、本体论构想和发现型实验这三大主题的交汇进程。

### 三 数学、实在与测量

弗洛里斯·科恩的编史纲领,是刻画科学革命之本质的最新的编史纲领。在其2007年出版的著作《世界的重新创造——近代科学是如何产生的》中,弗洛里斯·科恩为我们勾画了这一纲领的基本轮廓[弗洛里斯·科恩2012a]。弗洛里斯·科恩认为,科学革命的思想源头可以追溯到三大传统,他称之为三种认识自然的方式,或曰“自然认识形式”(Form der Naturerkenntnis):亚历山大的、雅典的和欧洲本土的。亚历山大方式,或抽象的-数学的方式,代表的是希腊化时代用数学方法去认识自然的传统,其典型成就包括希腊行星天文学、阿基米德的静力学,以及几何光学;雅典方式,或自然哲学的方式,代表的是希腊人寻求第

一原理以自上而下的方法来认识自然的传统,其典型成就是建立了四大哲学体系,包括柏拉图的、亚里士多德的、伊壁鸠鲁的和斯多葛的。单就对自然的认识而言,柏拉图主义强调自然界是几何形式的摹本,亚里士多德主义强调自然物是自身具有运动来源的事物,伊壁鸠鲁主义认为世界是原子和虚空构成的,斯多葛主义则认为世界充满了某种含有活力的气——“普纽玛”。弗洛里斯·科恩认为,第三种认识自然的方式是文艺复兴时期在欧洲本土兴起的,其特点是以实际应用为导向的精确观察。弗洛里斯·科恩写道:

到了15世纪中叶,在重新复兴的希腊认识形式的边缘产生了独特的第三种自然认识形式。它在方法上与两种希腊的自然认识形式极为不同。从事这种自然认识的人认为,真理并不能从理智中导出,而是要到精确的观察中去寻找,目的是实现某些实际的目标。[弗洛里斯·科恩 2012a, 页 67]

按照弗洛里斯·科恩的编史学,科学革命是这三种认识方式经过六次革命性的转变而完成的:

(1)第一次转变:从“亚历山大”到“亚历山大加(plus)”,开普勒和伽利略的功绩。开普勒通过建立行星运动的三定律,彻底推翻了希腊化时代建立的行星运动的本轮-均轮体系。与此同时,伽利略超越了阿基米德,将数学方法推广到地面物体的运动中来,提出了物体运动的惯性原理和落体定理。这种转变不是希腊化数学传统的简单延续,而是一种革命性的转变:开普勒和伽利略的工作在数学与实在之间建立了更密切的联系。

(2)第二次转变:从“雅典”到“雅典加(plus)”,比克曼和笛卡尔的功劳。像希腊哲学家一样,比克曼和笛卡尔都力图从第一原理来解释整个世界。他们继承了古代原子论的思想,认为物质是由不可分的微粒构成的,但他们要求微粒的运动服从机械论法则,包括惯性原理和动量守恒等运动学原理。

(3)第三次转变:从被动观察到发现型实验,代表人物有吉尔伯特和哈维。吉尔伯特《论磁》的副标题就是“通过各种论证和实验所标明的关于磁石、磁性物体和地球大磁石的新自然哲学”,哈维发现了人体的血液循环。发现型实验不是对自然的被动观察,而是通过操控手段来“拷问”自然。

(4)第四次转变:数学认识方式(伽利略的方法)与哲学认识方式(笛卡尔的运动微粒论)的融合,惠更斯的成就。碰撞运动和圆周运动是运动微粒论的核心问题,现在得到了严格的数学化处理。

(5)第五次转变:哲学认识方式(运动微粒论)与实验认识方式的融合,波

义耳和胡克的贡献。波义耳以运动微粒论为指导,进行了广泛的实验,包括气体实验和炼金术-化学实验,他所提出的“初级凝结物”概念接近了现代关于化学元素的定义。胡克更长于思辨,他试图通过以太微粒的振动来解释光和重力等自然现象,这使他走到了突破运动微粒论的边缘。

(6)第六次转变:三种认识方式的综合。牛顿不仅在年轻时独立完成了第四次和第五次转变,而且通过确认“力”的真实存在,独自一人完成了科学革命。

很明显,弗洛里斯·科恩的编史纲领脱胎于韦斯特佛的编史纲领,保留了韦斯特佛关于科学革命是有结构的过程的思想,同时对这一结构进行了修正与补充。他用“抽象的-数学的认识方式”取代了毕达哥拉斯-柏拉图主义的说法,用“自然哲学的认识方式”取代了机械论哲学的地位,同时补充了“第三种认识方式”,从而确立了实验在科学革命中的突出地位。在韦斯特佛的编史纲领中,经验与实验探索要么从属于毕达哥拉斯-柏拉图主义,要么从属于机械论哲学,经验与实验研究本身没有独立的地位。通过添加“第三种认识形式”,弗洛里斯·科恩对韦斯特佛的结构所做的扩充,对于我们理解科学革命,是极具启发价值的。实验是一种“手动思考”,因此科学革命不再是纯粹的“思想蜕变”。弗洛里斯·科恩的编史纲领,事实上已经突破了传统的思想史框架,而进入到文明史的层面。

尽管如此,弗洛里斯·科恩的编史纲领仍然有不尽如人意之处,这突出表现在他对第二主题,所谓“自然哲学的认识形式”的刻画上。本文第二节已经说明,这一主题不能用某个单一的哲学体系来概括。它是一个随实验观测和数字化进程而不断演进的主题:首先是空间的几何化,随后是机械论哲学,进而是机械论与微粒论的结合——运动微粒论,最终通过承认力的存在而超越机械论。但从弗洛里斯·科恩的六次转变来看,这一主题很大程度上被限制为机械论与微粒论的结合。尽管弗洛里斯·科恩正确地认识到伽利略的革命性所在,即在数学与实在之间建立更紧密的联系,但他没有认识到“空间的几何化”实际上是赋予了几何空间以实体的地位,这正是柯瓦雷研究的价值之所在。究其根源,是他在将韦斯特佛的第一主题“毕达哥拉斯-柏拉图主义”更换为“数学认识形式”时,没有意识到无形中抛弃了隐含在该主题中的本体论承诺。弗洛里斯·科恩实际上很清楚刻画第二主题的困难,因为他说笛卡尔的位置总是很难摆正[弗洛里斯·科恩 2012b, 页 638]。但如果我们将第二主题看作一个不断变化的主题,就不会存在这一问题:机械论是空间几何化和运动微粒论之间的桥梁。

第二主题的刻画不当,使得弗洛里斯·科恩的结构缺乏足够的能够自我修正

和自我更新的能力。他对三种形式六次转变的描述，很大程度上停留在对历史的运动学解释层面。依照他的描述，三种认识形式在科学革命之初是完全独立的，进而两两融合，最终是牛顿的综合，每一次融合都带有历史偶然性。但如果我们将他的第二主题修正为关于本体论承诺的主题，那么我们的历史图像就会不同。

通过修正弗洛里斯·科恩的第二主题，科学革命的进程就是数字化表征、本体论承诺和主动性观测这三个主题交织而成的结构的演进过程。这三个主题原本是独立的，因为他们的源头——数学、哲学和技术——原本是独立的，但从伽利略开始，它们就只有相对的独立性。每一个主题的展开，都同时受制于其他两个主题的进展。在这个三角结构中，数字化主题是不能独立展开的，它依附于、同时也刺激着其他两大主题的进展；后两个主题具有自身的相对独立性，活力论的盛行和关于磁石的实验就是明证。科学革命最显著的特征，是这三个主题之间的互动。这个互动的三角结构，在希腊化时代是看不到的。科学革命的进程，就是这个三角结构的演化过程。三个主题之间的互动，赋予了这个结构以自我发展的动力。

完整地阐述这个结构的演进，远非一篇文章所能容纳。这里我仅通过讨论超距作用力的确认，来说明经验观测和数字化表征是如何限制并推动本体论主题的发展的。前文已经说明，机械论哲学中没有力的位置。机械论哲学的最高成就就是惠更斯和波义耳取得的，前者用数学方法研究了机械论哲学中最重要的两种运动——碰撞运动和圆周运动，后者则用微粒之间的结合与分离来解释自己的炼金术-化学实验。牛顿在青年时期也接受了机械论哲学，他一方面像惠更斯一样研究了圆周运动，另一面像波义耳一样从事炼金术研究。但在机械论哲学框架之下，是不可能引入力的概念的。

牛顿在1718年的备忘录中说，他早在1666年就把重力扩展到月球轨道，并推断出使行星保持在圆周轨道上运动的力与行星到轨道中心的距离平方成反比。韦斯特佛和I. B. 科恩对牛顿手稿的研究表明，这份备忘录在某些方面是靠不住的。牛顿确实得出了平方反比关系，但他当时并没有朝向中心的吸引力概念，而是惠更斯式的“退离中心的倾向或努力（endeavor）”（后来被牛顿命名为离心力）。牛顿实际所比较的，是单位时间内月球退离轨道中心的距离与地球赤道上物体下落的距离（近似满足平方反比关系）[I.B. 科恩 1999，页 265-268]。或许他当时持有博雷利的看法，认为两者应该相互平衡相互抵消。无论如何，在机械论哲学框架内，我们只能得到撞击力和离心力的概念。

牛顿在自己的炼金术试验中,确实认识到了机械论的不足。在机械论的框架内解释重力、电磁和化学现象,通常是设想一种由精细微粒构成的以太,它在相隔一定距离的物体或微粒之间起着居间的作用。胡克和牛顿都认识到,纯粹物质性的以太不能满足这一要求,因为以太微粒自身的振动或密度变化的来源得不到解释,这就迫使胡克和牛顿引入某种“活动本原”,比如气精之类的活力源。这样,胡克和牛顿都到达了突破机械论的边缘。

确认自然界存在“超距作用”无疑是经验的要求。物体的下落、行星的轨道运动、磁石的吸引作用、摩擦后的琥珀吸引纸屑现象,还有大量炼金术-化学实验中的亲和性等等,都要求我们承认自然界中存在超距作用。但承认超距作用是一回事,将其提升到本体论层面则是另一回事。这里起关键作用的是数学化表征。牛顿把自己的著作命名为“自然哲学的数学原理”是大有深意的,他要探讨的不是力是什么,而是在数学上如何刻画力。力是什么,是精细微粒的机械运动,还是某种活力的表现,抑或是两者的混合,那是传统自然哲学或形而上学所要讨论的内容,而科学可以只满足于发现真实存在的各种力的数学形式。知道了力所服从的数学法则,力就不再那么神秘了。尽管我们仍然不知道力是什么,但我们知道了力的法则和力的作用效果。

牛顿在1679-1680年间突然有了微粒之间具有满足数学法则的力的概念,多布斯(B. J. T. Dobbs)把它归结为炼金术实验的影响[Dobbs 1975],I. B. 科恩则把它归功于胡克启发下关于行星轨道的动力学分析[I. B. 科恩 1999]。笔者认为,I. B. 科恩的观点更有说服力。胡克在1674年就猜想,行星的轨道运动是朝向中心的吸引力和沿切线方向的惯性运动共同作用的结果。他认为,所有天体都能把自己影响范围内的物体吸引到自身的中心,地球的重力也是这种吸引力。胡克的这一猜想显然来自开普勒。开普勒采纳了吉尔伯特关于磁力的设想,认为太阳能像发光一样发出一种吸引力,让行星保持在其运动轨道上。开普勒的这一动力学设想,在胡克这里变成了一个具体的数学猜想。它继承了伽利略关于抛物线运动的分析,抛物线运动是自由下落运动和匀速水平运动的矢量合成。胡克虽然有此猜想,却没有数学能力来证明,行星的椭圆轨道是服从平方反比的中心力的结果,所以他把这个问题的抛给了牛顿。在1679年之前,牛顿是没有朝向中心的吸引力概念的。胡克教会了牛顿如何从动力学角度去分析天体的曲线运动,这对牛顿建立自然哲学的数学原理起着核心作用。

---

韦斯特佛的看法依违其间,认为是炼金术和行星轨道研究的共同影响所致。

力的本体论地位是随着数学化表征的进展而逐步加强的。牛顿首先证明的是，行星的椭圆轨道蕴含了平方反比定律，并且认定其逆命题也成立，这样就从数学上刻画了天体的吸引力。接下来，牛顿进行了著名的“月球验证”，从而表明地球上的重力就是这种吸引力，重力、地球对月球的吸引力、太阳对各行星以及彗星的吸引力都是同一种力。更进一步，牛顿借助自己发现的第三定律，得出了所有天体以及所有物体都相互吸引的结论，不仅是地球吸引着苹果，苹果也同时吸引着地球，潮汐就是引力造成的，因此引力是普遍的，任意两个小球或微粒之间也存在引力。走到这一步，想不承认力的本体论地位恐怕也难了。在此基础上，牛顿设想微粒之间还存在其他的力 [I. B. 科恩 1999]。力是物质（质量）、空间（距离）和时间的函数，力与力之间的区别仅仅在于其函数形式的不同。

总之，力的本体论地位，是在经验确认的基础上，通过数学化表征而获得的。科学革命是数学化表征、本体论承诺和发现型实验这三大主题互动的进程。弗洛里斯·科恩的历史图像过分拘泥于历史描述，停留在对历史的运动学分析而不是动力学解释的层面。在我看来，他所描述的前三次转变从一开始就不是独立的。伽利略的运动学定律在很大程度上依赖于自己的实验研究，开普勒的行星运动三定律来自第谷的观测数据，而他的天体动力学设想则来自吉尔伯特的磁研究。另一方面，伽利略的运动学原理是笛卡尔机械论哲学的理论基础，而开普勒的动力学设想最终成为动力学世界观的思想源泉。在这样一幅动态演进的图像中，伽利略和开普勒都参与了“雅典加”——某个版本的毕达哥拉斯-柏拉图主义，而笛卡尔则继承了伽利略的“亚历山大加”。“第三种认识形式”固然有自己的相对独立性，但只要能与前两种认识形式结合，就一定会结合起来。就“第六次转变”而言，牛顿所完成的绝不仅仅是三种“自然认识形式”的“综合”。正如 I. B. 科恩所言，将牛顿的成就看成是“综合”，不仅贬低了牛顿思想的革命性，同时也导致对历史理解的含混性 [I. B. 科恩 1999，页 171]。更合理的历史隐喻，不是三条河流的交汇，而是蛋白质的三螺旋结构。

---

弗洛里斯·科恩认为，胡克最终没有突破机械论，是由于他没有参与“第四次转变”。这里我们可以更好地理解这一点：力的本体论地位是借助精确的数学形式而强化的。

说伽利略是柏拉图主义者，主要基于他的两点看法（1）物理空间是欧几里得数学空间（2）自然界这本大书是用几何语言写成的。但伽利略不是一位真正的数学实在论者，因为他设想的世界除了空间还有物质。说开普勒是毕达哥拉斯-柏拉图主义者，主要是基于他相信自然在数学上是和谐的，天体的运行服从严格的数学法则。事实上，开普勒的观点更接近毕达哥拉斯主义和新柏拉图主义。毕达哥拉斯主义认为自然界存在精确的数量关系，这是柏拉图本人所不认可的。新柏拉图主义认为存在“世界灵魂”，文艺复兴后期这种“世界灵魂”常常与活力论和交感论混杂在一起。

## 四 世界的祛魅

霍尔(A. R. Hall)认为,科学革命是理性战胜各种神秘主义的胜利,科学革命史的研究就是寻找“隐藏在大量神秘难解的谷壳之中的少量真正的知识谷粒”[Hall 1954, p. 307]。他强调科学革命是不同丝线交织而成的一块松散面料,其中数学和实验都起着作用,但对科学革命不能采取任何单一的因果解释。如此一来,科学革命很大程度上只是16-17世纪科学史的缩写标签,而不是一个历史分析的范畴。在我看来,霍尔的观点过分拘泥于历史细节的描绘,只看到大量历史线头的松散交织,而没有看到科学革命整体而言是一个有结构的进程。

科学革命的独特性,就在于它将数学化表征、本体论承诺和发现型实验这三大主题交织成的一个三角结构,从此科学不再是模糊的表达、神秘的玄想和经验资料的堆砌。有人把公元前3世纪希腊化时代的科学发展也称之为科学革命[Russo 2003],但我们在那个时代找不到这个三角结构。希腊化时代最突出的成就,是将数学表征和经验观测结合了起来,具体表现为数学天文学、静力学和几何光学的成就。希腊化时代同样也有发现型实验,具体表现在解剖学和机械学两方面的发展[郝刘祥 2014]。但无论如何,我们看不到科学革命时期所塑造的这个三角互动结构。

17世纪的科学革命与其说是思想革命,毋宁说是方法论革命。17世纪的科学革命固然是人类思想的一次蜕变,但作为思想革命它并不是独特的。化学革命、进化论革命、电磁学革命、相对论革命、量子力学革命和分子生物学革命,都是巨大的思想革命,深刻地改变了我们关于世界的观念。科学革命的独特性,在于它奠定了认识世界的方法,即利用数学、实验和思想的三重手段来研究和把握自然(当然,对于非物理科学来讲,我们必须把本体论承诺和数学化表征修正为理论项构想和命题式表达)。牛顿力学的世界图像如今已被大幅度修正。在麦克斯韦理论和狭义相对论中,伽利略时空被修正为洛伦兹时空,物质除了质量还有电荷属性,力除了引力之外还有电磁力;在广义相对论中,时空进一步被修正为弯曲的,引力被等同于时空的度规;在量子理论中,相互作用被设想为粒子的交换,而粒子本身则具有非定域性。尽管如此,所有这些思想变革都是沿用科学革命时期所确立的方法论原则来获得的。

霍尔强调科学革命是理性主义的胜利,这一点无疑是对的。沿用马克斯·韦伯的说法,我们可以把科学革命看成是“世界的祛魅”。这场祛魅是从空间、物



质和相互作用这三个维度来实现的。空间的几何化意味着亚里士多德目的论的破产,运动微粒论把物质设想为完全惰性的东西,物质自身不再有任何秘密可言,最后,通常被活力论和交感论等各种神秘主义思想所垄断的超距作用,被牛顿确定为满足精确数学形式的力。尽管力是什么还是神秘的,但力的作用和效果则明白无误。伯特(E. A. Burtt)有理由感到遗憾,因为伴随这一祛魅过程,人的心灵被孤立在这个被祛魅的世界之外。[伯特 2012]

将科学革命刻画为数学化表征、本体论承诺和发现型实验这个三角结构的演进过程,我们合理地吸收了柯瓦雷、韦斯特佛和弗洛里斯·科恩这三大编史纲领的内核。首先,我们不把自然的数学化局限为空间的几何化,而是把空间的几何化看成是关于空间的本体论承诺和数学化表征的共同结果。同样,我们也不把自然的数学化看成是毕达哥拉斯-柏拉图主义主题,而是把韦斯特佛的这一主题看成是数学化表征和本体论承诺的结合。就本体论承诺主题而言,柏拉图主义与机械论哲学在历史上并无冲突,相反,前者在历史上是后者的接生婆。韦斯特佛把科学革命设想为一个有结构的进程的思想是有永恒价值的,弗洛里斯·科恩通过引入实验主题从而将这个二元结构扩展为三元结构,是迄今关于科学革命的最有启发性的编史纲领。尽管如此,试图用机械论或微粒论哲学来概括本体论承诺的主题是不可行的。通过修改韦斯特佛和弗洛里斯·科恩的第二主题,我们看到科学革命不仅是一个有结构的过程,而且——在假定发现型实验主题具有更大的独立性的前提下——这个结构本身具有自我修正、自我演进的动力。

致谢 作者感谢刘闯教授和张卜天博士对本文初稿所提的修改意见。

## 参考文献

- Ben-David, J. 1971. *The Scientist's Role in Society: A Comparative Study*. N.J.: Prentice Hall.  
 本·戴维 J. 2007. 清教与现代科学. 郝刘祥译.《科学文化评论》. 4(5): 37-52.  
 伯特 2012.《近代物理科学的形而上学基础》. 张卜天译. 长沙: 湖南科学技术出版社.  
 Burtt, E. A. 1980. *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*. London and Henley: Routledge & Kegan Paul.

---

发现型实验为什么具有更大的独立性,已经超出了关于科学革命的本质的刻画,而进入到关于科学革命原因的探讨。在解释这一点上,奥尔什基(L. Olschki)、齐尔塞尔(E. Zilsel)、霍伊卡(R. Hooykass)、默顿(R. Merton)和本·戴维(J. Ben-David)的论点都有很强的合理性。

- Butterfield, H. 1958. *The Origins of Modern Science 1300-1800*. London: G. Bell & Sons Ltd.
- 戴克斯特霍伊斯 2010. 《世界图景的机械化》. 张卜天译. 长沙: 湖南科学技术出版社.
- Dijksterhuis, E. J. 1961. *The Mechanization of the World Picture*. Translated by C. Dikshoorn. Oxford: Clarendon Press.
- Dobbs, B. J. T. 1975. *The Foundations of Newton's Alchemy, or The Hunting of the Greene Lyon*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Drake, S. 1970. *Galileo Studies: Personality, Tradition and Revolution*. Ann Arbor: The University of Michigan Press.
- Hall, A. R. 1954. *The Scientific Revolution, 1500-1800: The Formation of the Modern Scientific Attitude*. London: Longmans.
- 郝刘祥 2014. 希腊化时代科学与技术之间的互动. 《科学文化评论》. 11(1): 25-39.
- 霍伊卡 1999. 《宗教与现代科学的兴起》. 邱仲辉等译. 成都: 四川人民出版社.
- 科恩, 弗洛里斯 2012a. 《世界的重新创造 近代科学是如何产生的》. 张卜天译. 长沙: 湖南科学技术出版社.
- 科恩, 弗洛里斯 2012b. 《科学革命的编史学研究》. 张卜天译. 长沙: 湖南科学技术出版社.
- 科恩, I. B. 1999. 《牛顿革命》. 颜峰等译. 南昌: 江西教育出版社.
- 科恩, I. B. 2010. 《新物理学的诞生》. 长沙: 湖南科学技术出版社.
- 柯瓦雷 2003. 《牛顿研究》. 张卜天译. 北京: 北京大学出版社.
- 柯瓦雷 2008a. 《伽利略研究》. 刘胜利译. 北京: 北京大学出版社.
- 柯瓦雷 2008b. 《从封闭世界到无限宇宙》. 张卜天译. 北京: 北京大学出版社.
- Koyré, A. 1958. *From the Closed World to the Infinite Universe*. New York: Harper & Borthers.
- Koyré, A. 1980. *The Astronomical Revolution: Copernicus-Kepler-Borelli*. Translated by R. E. W. Maddison. London: Methuen.
- Koyré, A. 1968. *Metaphysics and Measurement: Essays in Scientific Revolutions*. London: Chapman & Hall.
- Kuhn, T. S. 1977. *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kuhn, T. S. 1970. *The Structure of the Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- 默顿 2000. 《十七世纪英格兰的科学、技术与社会》. 范岱年等译. 北京: 商务印书馆.
- Russo, L. 2003. *The Forgotten Revolution: How Science Was Born in 300 BC and Why it Had to Be Reborn*. Translated by S. Levy. Berlin and Heidelberg: Springer-Verlag.
- 韦斯特福尔 2000. 《近代科学的建构》. 彭万华译. 上海: 复旦大学出版社.
- Westfall, R. S. 1971. *The Construction of Modern Science: Mechanisms and Mechanics*. New York and London: John Wiley & Sons Inc.
- Westfall, R. S. 1980. *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press.
- 袁江洋 1997. 《思想之网 哲人科学家——牛顿》. 福州: 福建教育出版社.
- 张卜天 2010. 从古希腊到近代早期力学含义的演变. 《科学文化评论》. 7(1): 38-53.

## The Mathematization of Nature: An Inquiry into a Historiographical Issue of the Scientific Revolution

**Abstract:** On the basis of a critical review of the historiographical viewpoints of three historians, namely Alexander Koyré, Richard Westfall and Floris Cohen, the author argues that the scientific revolution is a dynamically structured process. The structure of the scientific revolution consists of three themes—the mathematical representation, the ontological commitment, and the experiment for discovery. The dynamics comes from the interactive restriction and promotion among the three relatively independent themes. The mathematization of nature should be understood as the mathematical representation of nature and would reach an impasse when detached from the advancement of the other two themes. On the one hand, the mathematical representation depends on our ontological commitment of the physical reality; on the other hand, the mathematical representation inspires us to modify the accepted ontological commitment.

**Keywords:** the scientific revolution, historiography, mathematical representation, ontological commitment, experiment for discovery, mechanism, the corpuscular theory, action at distance